

Las técnicas GPS como herramienta en la gestión ambiental

Roberto RODRÍGUEZ-SOLANO SUÁREZ y Santiago MANCEBO QUINTANA

RESUMEN

El presente artículo describe el sistema GPS y sus aplicaciones de manera general y con relación a la gestión ambiental. Se hace referencia a estudios relativos a múltiples aplicaciones, estudios que ya se han realizado con un notable éxito. De este artículo se desprende que el sistema GPS es totalmente viable en el campo y en muchos aspectos supera las capacidades de los métodos tradicionales, especialmente en el tiempo necesario para las mediciones.

PALABRAS CLAVES: GPS.

ABSTRACT

This article describes generally and in relation to environment management the Global Positioning System and its applications. Some studies are referred to describe some of these applications, this studies has been finished succesfully. This article states that the Global Positioning System can be used in the field and it is better to conventional methods in many aspects, specially the time needed for measuring.

KEY WORDS: GPS.

RESUMÉ

L'article décrit le système GPS et ses applications generals et dans la fession du l'environnement. Il sont recuillis nombreaux applications et études

déja finalissés et qu'on obtenu un gran succès. Il faire souligner que le système GPS est très viable dans les travaux sur l'environnement et qu'il surpasse a les méthodes traditionnels en spécial dans le temps qu'il est nécessaire pour faire les mesures.

MOTS CLÉS: GPS.

INTRODUCCIÓN

El sistema GPS es una herramienta totalmente operativa que ya se está utilizando con gran éxito en el ámbito medioambiental. Por esta razón pretendemos describir este sistema y analizar las posibilidades de este sistema como herramienta en la gestión ambiental. Se realiza un repaso a múltiples aplicaciones que ya se han realizado con un gran éxito. Finalmente se analiza el futuro del sistema y se presentan varias direcciones *web* de interés.

BREVE DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA GPS

El Sistema de Posicionamiento Global ¹, GPS (*Global Positioning System*), es un sistema de navegación por radioondas que permite localizar cualquier punto de la superficie terrestre. Está basado en una constelación de 24 satélites, NAVSTAR (Fig. 1 y 2), y en cinco estaciones de seguimiento de los satélites. El GPS utiliza estos satélites como puntos de referencia con los que calcular, mediante equipos portátiles (Fig. 3), la posición con una precisión que puede llegar a ser milimétrica con los instrumentos y el tratamiento informático adecuados.



Figura 1.—Constelación NAVSTAR.

¹ Una traducción correcta podría ser Sistema de Localización Global.

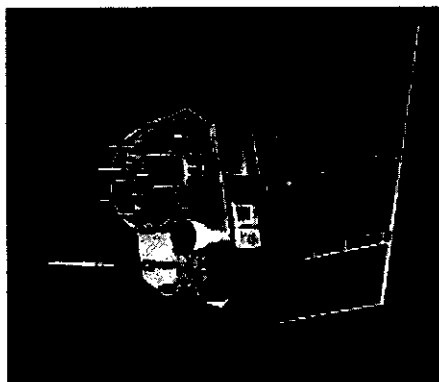


Figura 2.—Satélite del bloque II.

La localización se realiza por una multilateración tridimensional. Este método consiste en calcular la posición conociendo las distancias entre la antena del equipo y un mínimo de cuatro satélites.

Los satélites emiten información sobre tres ondas, llamadas portadoras: L1 (con una frecuencia de 1575,42 MHz), L2 (1227,69 MHz) y L3 (1381,05 MHz). Sobre estas ondas se modulan dos códigos y un mensaje. Uno de los códigos es de libre acceso, C/A (*Course/Acquisition*) o S (*Standard*) y sólo está disponible con la portadora L1. Se llama de libre acceso porque cualquier usuario, tanto civil como militar, puede utilizarlo. El otro código está restringido al uso militar, se llama P (*Precise*) y está modulado sobre las tres portadoras. Los códigos y las portadoras se utilizan para calcular las distancias a los satélites. El mensaje aporta la información necesaria sobre distintos parámetros de los satélites y permite programar posteriores sesiones de medición.

Todo el sistema está controlado, por tratarse de un desarrollo de origen militar, por el Departamento de Defensa de los EE.UU., el cual dispone de dos métodos para controlar el uso civil. El primero se conoce como Disponibilidad Selectiva, SA (*Selective Availability policy*) y consiste en la introducción de errores, de manera deliberada, en la información que transmiten los satélites en el mensaje. El segundo, llamado A-S (*Anti-Spoofing*) consiste en encriptar el código P, con esto sólo los receptores militares autorizados pueden registrar adecuadamente este código y obtener las mejores precisiones que ofrece el sistema.

MÉTODOS DE MEDIDA

Se pueden clasificar en función de la onda o código utilizados para calcular las distancias:



Figura 3.—Receptor GPS.

- Seudodistancias. En este caso se utilizan los códigos. Es el menos preciso pero el más rápido, en dos o tres minutos se puede comenzar a obtener coordenadas.
- Diferencia de fase. Utiliza las ondas portadoras. Este método es muy preciso pero tiene varios inconvenientes:
 - Supone necesariamente el empleo de dos o más equipos GPS (método relativo).
 - El tiempo de inicialización del sistema es notablemente superior, con algunos equipos próximo a los 60 minutos. Este tiempo se puede reducir mediante técnicas que suponen el empleo de receptores sofisticados y costosos con capacidad para registrar el código P o a estacionarse dos veces en cada punto con un lapso de una hora entre medidas.
 - Los resultados válidos sólo están disponibles a partir de un post-proceso informático, por ello no es posible obtenerlos en tiempo real.
 - Se necesita que durante la inicialización y, según el método de medida, durante el desplazamiento entre los puntos, no se pierda la señal de al menos cuatro satélites en ningún momento. En caso de perderla hay que volver a inicializar el sistema.

Otra clasificación se basa en el número de equipos empleados:

- Absoluto. Se usa un solo aparato. Sólo permite calcular las distancias a los satélites por el método de pseudodistancias.
- Relativo. Se usan dos o más aparatos. Uno de ellos se emplea como referencia y el otro como estación, lo que permite realizar las correcciones diferenciales. Se pueden emplear los dos métodos de medición de distancias.

También se pueden clasificar según el movimiento del receptor:

- Estático. El receptor permanece inmóvil en un punto concreto.
- Dinámico. El receptor se mueve por un itinerario ya sea registrando coordenadas de manera discreta o continua.

Finalmente, según el momento en que están disponibles los resultados:

- En tiempo real, es decir, disponible en el momento de realizar la medición. Es propio del método absoluto o bien en base a correcciones radiodifundidas desde un punto de referencia.
- En gabinete, lo que supone un tratamiento informático posterior.

Existen muchas formas de realizar las mediciones según las distintas combinaciones de estos métodos (Tabla 1), pero algunos quedan descartados en aplicaciones ambientales ya sea por su baja precisión, por su excesiva demanda de tiempo para realizar las mediciones o por la imposibilidad de su realización en zonas montañosas, arboladas... De forma general, los métodos más frecuentes de localización son los siguientes:

- Estático absoluto. Se obtienen las coordenadas mediante pseudodistancias. Las medidas en tiempo real con el código S tardan dos o tres minutos como máximo y tienen una precisión del orden decamétrico (más con la Disponibilidad Selectiva activada). También se pueden realizar muchas medidas aumentándose la precisión en gabinete.
- Dinámico absoluto. Hay que utilizar el método de pseudodistancias, da la posición en tiempo real y su precisión es de 30 m (150 m con la Disponibilidad Selectiva). Es el que se utiliza en navegación.
- Estático relativo. Utiliza al menos dos receptores, uno de ellos localizado en un punto de coordenadas conocidas. Así se reducen mucho los errores en la localización. Con el método de pseudodistancias y largas observaciones se llega a precisiones de 1 m, si bien se suele admitir de

Método de medida	Precisión		Nº receptores	Tiempo de inicialización	
	Seudo-distancias	Medida de fase		Seudo-distancias	Medida de fase
Estático absoluto	Decamétrica	-	1	2-3 minutos	-
Dinámico absoluto	Decamétrica	-	1	2-3 minutos	-
Estático relativo	1-5 m	25 cm	2 o más	2-3 minutos	10-60 minutos
Dinámico relativo	3-10 m	Decimétrica	2 o más	2-3 minutos	10-60 minutos

Tabla 1 Resumen de métodos de medida.

2 a 5 m. Con el de diferencia de fase a 0,025 m si los receptores están separados sólo unos kilómetros. Pudiéndose alcanzar la precisión milimétrica usando otras técnicas complementarias.

- Dinámico relativo. También con dos receptores, uno fijo y otro móvil. Con el método de pseudodistancias la precisión es de unos 3 a 10 m. Las medidas pueden ser en tiempo real si se usan radiotransmisores para enviar las correcciones de un receptor a otro. También se pueden utilizar las correcciones que proporcionan distintos organismos, ya sea vía radio o satélite. Con el método de diferencia de fase se llega a una precisión decimétrica.

BREVE DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA GLONASS

Además del sistema estadounidense, GPS, existe un sistema similar ruso, GLONASS, cuya función, señales y posibilidades son básicamente las mismas. Este sistema no está tan desarrollado y difundido como el GPS, pero comienza a ser más frecuente la existencia de receptores que captan las señales GPS y GLONASS, con las ventajas productivas y de precisión que esto conlleva.

Las principales diferencias en forma de ventajas e inconvenientes se exponen a continuación.

Ventajas del GLONASS:

- Los códigos son todos de acceso libre y sin degradación de la precisión.
- El código preciso, P, del GLONASS está disponible en dos ondas: L1 y L2. Esto permite realizar correcciones ionosféricas que aumentan la precisión.

Desventajas del GLONASS:

- Sólo hay 14 satélites operativos (en el sistema GPS son 24).
- Al ser su uso más restringido existen pocos receptores y software para el post-proceso, y son muy pocas las experiencias realizadas.
- Por la misma razón, el uso del GLONASS diferencial requiere del uso de dos receptores propios, a diferencia del GPS, del que se encuentran correcciones vía satélite, radio, Internet...

Por todo esto, hoy en día su uso es muy limitado y en las aplicaciones ambientales su única utilidad sería como complemento al sistema GPS.

REVISIÓN GENERAL DE LAS APLICACIONES

El GPS se concibió inicialmente como un sistema de navegación militar que permitía conocer las coordenadas de cualquier punto de la tierra y navegar por todo el globo. En un principio se ideó para que los submarinos norteamericanos pudieran conocer su localización y navegar sin que ninguna otra fuerza militar pudiera detectarlos, dado que el usuario nunca identificaba su posición al emplear este sistema. Por su gran utilidad potencial en usos civiles se creó el código S, de libre recepción con cualquier receptor GPS. Así, rápidamente se empezó a incorporar en distintos transportes, como el ferroviario, el aéreo, el marítimo... para realizar un seguimiento de los vehículos y las mercancías y para proporcionar la localización, la velocidad y el tiempo de forma más precisa que otros sistemas vigentes.

Con el desarrollo de receptores cada vez más ligeros y sencillos de utilizar, más precisos y más asequibles se ha ido introduciendo el uso del GPS en multitud de aplicaciones civiles. Hoy día quedan pocos apartados en los que todavía no se haya empezado a usar el GPS.

A continuación se presenta una breve relación de las aplicaciones más habituales, en ocasiones asociadas a otras tecnologías:

Aplicaciones a los recursos naturales:

- Cartografía de árboles, cortafuegos, límites de parques, ríos...
- Cartografía de incendios forestales.
- Cartografía para control de plagas.
- Control de las actividades de empresas de gestión y de productos forestales subcontratadas.
- Planificación minera.
- Cartografía de la explotación mineral.

- Planes de gestión de la fauna.
- Delimitación de zonas pantanosas.
- Cartografía medioambiental y apoyo a la legislación.

Aplicaciones a la agricultura de precisión:

- Cartografía de campo.
- Ayuda en la toma de muestras de suelo, de producción.
- Guía de cosechadoras.
- Cartografía de la producción.
- Guía para la aplicación de productos fitosanitarios.

Aplicaciones a la industria:

- Aplicado a la determinación de campos magnéticos en las proximidades de líneas de alta tensión.
- Inventario de instalaciones.
- Localización e incorporación de atributos temáticos a un Sistema de Información Geográfica (SIG) de líneas de gas, agua, alcantarillado, obras, estructuras de control, válvulas...
- Planificación lineal y análisis de corredores:
 - Reconocimiento de campo
 - Estudio de Impactos Ambientales
 - Detección de cambios
 - Cartografía de pantanos
 - Compra de terrenos
- Control continuo y mantenimiento preventivo.
- Evaluación de desastres naturales.
- Navegación y localización bajo condiciones meteorológicas adversas.
- Restablecimiento de servicios.
- Cartografía para propósitos legales y de seguridad.
- Respuestas de los servicios de emergencia.

Aplicaciones al sector público:

- Análisis de accidentes.
- Plantaciones de arbolado urbano.
- Cartografía e inspección de puentes.
- Búsqueda de escapes en redes de distribución.
- Gestión de proyectos.
- Cartografía de puntos singulares:

- Drenaje
- Puntos de acceso
- Alumbrado y líneas de iluminación
- Localización de equipo contraincendios, equipo de emergencia
- Señales de tráfico y semáforos
- Límites de la propiedad

Aplicaciones a la minería y la construcción:

- Reconocimiento.
- Operaciones de perforación.
- Operaciones de movimiento de tierras.
- Construcción de carreteras.
- Seguimiento de vehículos.
- Control remoto de maquinaria.
- Monitorización de:
 - Puntos de control
 - Estabilidad de laderas
 - Sedimentación
- Puntos de control para edificios y presas.
- Cartografía y guía en la instalación de transporte eléctrico y de gas.

Aplicaciones a la navegación aérea:

- Transporte aéreo de pasajeros y mercancías.
- Aviación deportiva.
- Transporte personal.

Aplicaciones a la navegación marina:

- Transporte marítimo de pasajeros y mercancías.
- Localización de estructuras.
- Operaciones de cableado
- Perforaciones marinas.
- Exploración marina.

Aplicaciones a las comunicaciones y localización de vehículos:

- Flotas comerciales y control de vehículos de transporte:
 - Seguimiento de mercancías de valor
 - Compañías de servicios
 - Reparto

- Alquiler de vehículos
- Servicio de carreteras
- Seguridad pública: localización automática de vehículos.

Aplicaciones a las ciencias geográficas:

- Geodesia:
 - Determinación de redes fundamentales para cartografía y topografía.
 - Cálculo de la ondulación del geoide.
- Topografía:
 - Densificación de redes geodésicas.
 - Levantamientos taquimétricos.
- Fotogrametría:
 - Navegación de los aviones fotogramétricos.
 - Determinación de las coordenadas del centro óptico de la cámara en el momento de la fotografía.
- Cartografía.
- Geofísica:
 - Estudio de deformaciones de la superficie terrestre.
 - Determinación de la estructura de las distintas capas de la atmósfera y comportamiento de las mismas.
- Hidrografía:
 - Levantamientos batimétricos.
 - Estudios y análisis de la evolución de cuencas hidrográficas.
 - Determinación de itinerarios fluviales y marítimos.

Aplicaciones horarias:

- Sincronización horaria entre países con una precisión superior a los nanosegundos.

Aplicaciones militares.

- Múltiples aplicaciones, especialmente aquéllas asociadas con operaciones en las que coordenadas puntuales son los objetivos.

POSIBILIDADES DE LOS EQUIPOS GPS

Una de las grandes ventajas de la tecnología GPS es que los receptores se pueden montar sobre todo tipo de vehículos todo-terreno, motocicletas, motos

de cuatro ruedas (quads), bicicletas, helicópteros..., con lo que la velocidad de toma de datos y el rendimiento mejora sustancialmente respecto a las mediciones tradicionales.

El montaje del GPS en vehículos todo-terreno para cartografiar carreteras, pistas forestales, etc. está muy documentado. En México se han cartografiado con vehículos todo-terreno 91.000 kilómetros de carreteras y autopistas (PALACIO, 1995). En España se utilizó en la digitalización de carreteras, pistas y caminos forestales en el Macizo Central de Gredos a escala 1:5.000 (ZAVALA, 1998). En este mismo trabajo se delimitó la zona y se calculó su superficie con un receptor GPS montado sobre un helicóptero. También se ha usado el helicóptero para cartografiar incendios forestales (RODRÍGUEZ-SOLANO, 1994) y zonas boscosas (ROGERS, 1995). También hay experiencias realizadas con bicicleta, como en la isla de Java, en la que se emplearon receptores GPS y otros equipos asociados para medir parámetros geológicos sobre una bicicleta para hacer estudios sobre estabilidad geológica (LA FEMINA, 1998).

Otra ventaja es que el GPS puede además incorporar, en el momento del registro de las coordenadas, otros datos descriptivos o temáticos. Toda esta información se puede a su vez integrar en formato adecuado a un gran número de Sistemas de Información Geográfica (SIG). Un Sistema de Información Geográfica es una base de datos georreferenciada que permite realizar complejos análisis de la información de manera rápida y sencilla. Se trata de una herramienta muy útil para realizar cartografía temática, actualización cartográfica, análisis de redes y es un gran instrumento para la planificación y gestión del medio natural.

En las mediciones en campo, los equipos GPS presentan multitud de ventajas respecto a los medios tradicionales topográficos porque:

- su peso es muy reducido.
- sólo es necesario una persona para realizar los trabajos.
- todos los datos son útiles, no hay que realizar itinerarios de aproximación a la zona de trabajo.
- no es necesario tener intervisibilidad entre los puntos.

APLICACIONES MEDIOAMBIENTALES MÁS SIGNIFICATIVAS

En este medio las aplicaciones son de singular relevancia ya que permiten realizar trabajos que con los métodos tradicionales resultan lentos y costosos. En el campo es de vital importancia que la toma de datos se realice de manera rápida, sencilla y que los aparatos sean lo más ligeros y manejables posibles. Todas estas características las presentan los receptores GPS.

ACTUALIZACIÓN CARTOGRÁFICA

Una de las aplicaciones más significativas es la actualización cartográfica. Se pueden cartografiar elementos lineales de manera muy rápida montando los receptores sobre algún tipo de vehículo terrestre o fluvial. Los vehículos todo-terreno, tanto coches como motocicletas y quads, pueden transitar por carreteras, pistas y caminos forestales y sendas en buen estado. El uso de embarcaciones para cartografiar ríos presenta unas posibilidades bastante restringidas ya que los ríos de montaña suelen ser estrechos y la parte alta de los cursos intransitable. Los ríos más anchos suelen presentar presas con los problemas que esto significa para realizar una toma de datos completa del río. La cartografía de elementos puntuales y superficiales requerirá en la mayoría de los casos de aproximaciones a pie.

Un ejemplo son los trabajos realizados por I. CAÑAS, 1998, de cartografía de pistas forestales en la Sierra de Ancares. En este estudio se utiliza las posibilidades de asignación de atributos *in situ* del GPS para posteriormente volcarlo todo a un Sistema de Información Geográfica.

En el bosque experimental de Lubrecht (Lubrecht Experimental Forest Missoula, EE.UU.), comenzaron en 1986 los primeros ensayos de precisión con receptores GPS portátiles sobre una red de control, tanto en modo estático como cinemático. En este último caso se contemplaron distintas posibilidades montando receptores móviles sobre vehículos todo-terreno o bien a mano. A partir de estas experiencias se consideró el GPS como un método válido de digitalización de recursos naturales (GERLACH Y JASUMBACK, 1989).

CARTOGRAFÍA BÁSICA

No sólo se puede actualizar cartografía existente, también se puede realizar la cartografía básica necesaria para estudios del medio natural. Esto representa una gran ayuda para estudios de impacto ambiental.

Un ejemplo de realización de cartografía básica se ha realizado en Nicaragua (DANA, 1998). Con ayuda de receptores GPS y de Sistemas de Información Geográfica se ha cartografiado una buena parte de la superficie nicaragüense.

PROTECCIÓN MEDIOAMBIENTAL

Hay procesos, tanto naturales como producidos por la mano del hombre, que modifican muy rápidamente el territorio haciendo necesaria una actuali-

zación cartográfica rápida y precisa. Un ejemplo de ello son los incendios forestales, las catástrofes naturales, los vertidos de sustancias contaminantes, las plagas forestales entre otros.

En los incendios forestales empieza a ser habitual el montar un receptor GPS en un helicóptero para cartografiar la zona quemada, lo que permite conocer su superficie y localización y, con ayuda de los Sistemas de Información Geográfica y bases de datos medioambientales, conocer el volumen de madera quemada, las especies afectadas... (RODRÍGUEZ-SOLANO, 1994; DRAKE, 1991).

Otro ejemplo en este sentido es la determinación de parámetros de calidad del agua en la bahía de Algeciras, dentro del «Plan Bahía de Algeciras» del Laboratorio de Biología Marina de la Universidad de Sevilla y Cádiz, en donde los receptores GPS se montaron sobre pequeñas embarcaciones (ZAVALA, 1998).

En el Sur de California, con la ayuda del GPS, SIG y Teledetección, se ha realizado un seguimiento del impacto de centrales nucleares con la intención de establecer medidas para proteger los ecosistemas y hábitats que se encuentran en la proximidad de éstas (BERTRAN, 1993).

En Ecuador, en un plan de conservación de ecosistemas tropicales, se empleó el GPS, SIG y Teledetección para cartografiar vías de comunicación, centros poblados, ríos principales... en la Reserva Ecológica de Cayambe-Coca (GUEVARA, 1998)

ESTUDIOS FAUNÍSTICOS

Viene siendo utilizado desde hace mucho tiempo por biólogos en estudios de distribuciones de especies, de seguimiento de individuos marcados...

En EE.UU. se ha utilizado para el seguimiento de animales salvajes capturándolos y acoplándoles un receptor GPS de pequeño tamaño. Así se profundizó en el conocimiento del hábitat de ciervos, alces, antas, caribús y osos (RODGERS, 1994).

También en Norteamérica se hizo un estudio sobre el hábitat del Águila calva con GPS (WURZ, 1991). Este estudio permitió:

- Realizar un control horizontal y vertical para cartografía fotogramétrica.
- Controlar la calidad de los itinerarios o transectos.
- Reducir el trabajo de campo al poder georreferenciar los transectos sin necesidad de hacer itinerarios topográficos desde los puntos de control.
- Digitalizar y georreferenciar el proyecto.

- Controlar las distorsiones geodésicas inherentes a itinerarios muy largos.

También en Venezuela se estudió el Águila Harpía, su hábitat, costumbres... utilizando receptores GPS para localizar los nidos y georreferenciar el hábitat de estas aves (ÁLVAREZ-CORDERO, 1998).

Su uso se podría ampliar a especies cinegéticas. En esta misma línea también se ha usado el GPS aprovechando su utilidad original, la navegación, como ayuda para los cazadores en sus movimientos por el monte, así son destacables las experiencias de Archdeacon en 1995.

ESTUDIOS DE BIODIVERSIDAD

En Brasil, una organización internacional de conservación, *The Nature Conservancy*, empleó el GPS para documentar la biodiversidad de ecosistemas en el Caribe y América Latina (CRISTOFANI, 1996) con imágenes de satélite (Teledetección).

TELEDETECCIÓN

El GPS también es una herramienta útil para la Teledetección. Por una parte permite corregir geométricamente las imágenes. Además, permite comprobar las clasificaciones establecidas sobre el terreno, lo que se conoce por verdad-terreno. El GPS en el campo permite localizar rápidamente los puntos que se quieren muestrear. Además se pueden introducir los atributos temáticos necesarios para la clasificación.

Los inspectores europeos encargados del control de las subvenciones agrarias concedidos bajo los fondos de la PAC (Política Agraria Común) también utilizan esta técnica, receptores GPS e imágenes de satélite, por ejemplo, en Andalucía, para realizar comprobaciones sobre el terreno del grado de aplicación (MANZANO-AGUGLIANO, 1998).

Colvocoresses en 1993 demostró la viabilidad del GPS en el registro de coordenadas sobre puntos de control, GCP (*Ground Control Points*), necesarios para georreferenciar imágenes de satélite para actualización cartográfica.

Por otro lado, I. ZAVALA y R. GARCÍA (1992) han llevado con éxito la corrección de anomalías de imágenes de satélite, como las provocadas por pequeños cambios en la órbita o velocidad del satélite, por la rotación de la Tierra..., con ayuda de GPS, trabajo de campo y transformaciones matemáticas.

FOTOGRAMETRÍA

En este caso las técnicas GPS ayudan en la corrección y restitución de las fotografías aéreas localizando de manera rápida y eficaz los puntos de control. También sirve para comprobar la verdad-terreno de las clasificaciones realizadas.

Otro uso es en la navegación de los aviones con GPS en tiempo real, registrándose a la vez las coordenadas exactas del centro óptico de la cámara cuando se toman las fotografías (GOAD, 1997).

GESTIÓN DE ESPACIOS PROTEGIDOS

En la actualización cartográfica, en la inventariación, en estudios de la fauna y de la flora de espacios protegidos, los equipos GPS resultan de gran ayuda.

En California se llevó a cabo la primera experiencia en la que se usaba fotointerpretación aérea, GPS y trabajos de campo para identificar y marcar las fronteras de las zonas con secuías y así establecer medidas adecuadas para proteger el Parque Nacional del impacto humano y de catástrofes naturales (ROGERS, 1995).

APROVECHAMIENTOS FORESTALES

Una de las operaciones más costosas en los aprovechamientos madereros es la saca de la madera desde el monte a los parques de distribución y a los aserraderos y papeleras. Se trata de transportes costosos, lentos y que deben estar bien planificados y gestionados. El GPS permite facilitar este control porque permite realizar seguimientos en tiempo real de la flota de los vehículos que participan en estas labores. También ayudan al transportista en el acercamiento de los camiones a las zonas donde está apilada la madera y en la elección de rutas óptimas con ayuda de un Sistema de Información Geográfica.

Así, una empresa finlandesa dedicada a la madera, el papel y la pulpa ha conseguido optimizar la calidad de la madera al estar menos tiempo apilada en el monte, amortizar más rápidamente los vehículos de transporte al aumentar su rendimiento, reducir el número de camiones, reducir el capital inmovilizado en el monte en forma de madera apilada y disminuir el número de personas necesarias para gestionar los transportes (TOLKIKI, 1993).

En Nueva Zelanda se realizaron estudios sobre la compactación de suelos

provocada por el paso de la maquinaria forestal. Se colocaron receptores GPS en las máquinas y se monitorizaron las rutas de estas máquinas para obtener las zonas que habían sufrido un mayor tránsito de vehículos (McMAHON, 1997). Estos estudios abren nuevas posibilidades:

- Con las técnicas tradicionales de medida de compactación de suelos se pueden conocer los efectos que cada vehículo provoca sobre el suelo.
- Se pueden realizar monitorizaciones en vídeo, estudios de tiempos... útiles para obtener horas de trabajo productivas, ciclos de tiempo, distancia recorrida por una máquina...

En EE.UU. han empleado estas técnicas para definir los límites y determinar el área de una zona del Rogue River National Forest para un concurso para aprovechamiento maderero. También se usó para localizar árboles con graves daños por plagas o enfermedades (BERGSTROM, 1990), con un rendimiento muy superior al de los métodos tradicionales.

ADMINISTRACIÓN

El GPS también es una herramienta muy útil para la administración pública con relación a la gestión forestal. Permite, entre otros:

- Trabajos de control de obras.
- Extensión de plagas.
- Marcaje de perímetros de actuación.
- Proyección de infraestructuras lineales.
- Localización de especies de fauna silvestre.

Así, en Murcia por ejemplo, se han empleado receptores GPS para registrar y elaborar inventarios en zonas forestales, para cartografiar y controlar actuaciones en terrenos agrícolas y forestales, cartografiar y evaluar áreas afectadas por incendios forestales (ALBADALEJO, 1998). Se trataba de contribuir en la implementación de una base de datos georreferenciada orientada a su explotación por técnicos y gestores y preparada para ofrecer información pública.

En México se utilizó para realizar trabajos catastrales abarcando 48,6 millones de hectáreas y 16.896 ejidos, lo que avala la capacidad de estos equipos para realizar cartografías a gran escala (HERNÁNDEZ, 1998).

FUTURO DEL GPS

El futuro de la constelación GPS está plenamente asegurado. El primer satélite GPS moderno (del bloque II) se lanzó el 14 de febrero de 1989 y el 24º, que completaba la constelación, el 9 de marzo de 1994. La vida estimada de los satélites es de unos siete años y ya se han repuesto los satélites más antiguos.

El presidente de los EE.UU., Bill Clinton, firmó el 29 de marzo de 1996 una directiva por la que el gobierno norteamericano eliminará la Disponibilidad Selectiva antes del año 2006, es decir, dejará de degradar la señal para su uso civil y comercial.

El vicepresidente de los EE.UU., Al Gore, anunció dos nuevas señales para su empleo en GPS civiles. La primera es segura y ya se está preparando, se llamará L5 y se conoce la frecuencia que tendrá. La creación de la segunda es más dudosa.

En general, en todos los países europeos, EE.UU., etc. se está tendiendo a incentivar, mejorar y facilitar el uso civil del GPS. La próxima década presenciara una expansión en su uso aún más espectacular que la actual, ya que se prevé que mejorarán las señales, los receptores y se aumentará el número de satélites.

En el sector forestal ocurrirá algo parecido. Con la mejora de los sistemas, de los receptores y su abaratamiento progresivo, se convertirá en una herramienta habitual en el monte. Los trabajos, la cartografía, los inventarios serán más detallados y de mayor calidad.

En la obra civil el GPS está empezando a sustituir a la topografía clásica tanto en el levantamiento de planos como en el posterior replanteo. El GPS en tiempo real está avanzando enormemente, alcanzando precisiones milimétricas. Por ejemplo, el puente que unirá Dinamarca y Suecia se está realizando con ayuda de GPS en tiempo real (RTK GPS).

El GPS está llegando a tales precisiones que ya permite que un ordenador pueda controlar una máquina de forma totalmente automática. En esta línea de investigación y todavía de manera experimental, la Universidad de Lancaster ha creado una retroexcavadora que, con ayuda del GPS y de un sistema de navegación, un ordenador controla todas las operaciones y puede trabajar sin control humano.

Algunas de las posibles aplicaciones futuras del GPS podrían ser:

- Seguimiento y limpieza de vertidos de petróleo.
- Seguimiento de ferrocarriles y aviones para evitar colisiones.
- Localización de vehículos averiados.
- Identificación de hábitats para determinadas especies animales.

- Prospecciones marinas.
- Vigilancia fronteriza.

DIRECCIONES WEB DE INTERÉS

Los siguientes directorios de páginas sobre GPS han resultado ser muy completos y en ellos se pueden encontrar tutoriales, estudios, aplicaciones, empresas comerciales...

En Yahoo:

- dir.yahoo.com/Science/Geography/Navigation/Global_Positioning_System_GPS_/
- dir.yahoo.com/Science/Geography/Navigation/GLObal_NAVigation_Satellite_System__GLONASS_/

En Altavista (Looksmart):

- www.looksmart.com/World/Computers&Internet/Networks&Comms/Wireless/Satellite/GPS (navegar por el directorio).

Particular:

- www.ghgcorp.com/wagenx/gps.htm

Algunas direcciones más específicas:

- Un tutorial de la compañía Trimble Navigation que explica de manera muy sencilla qué es el GPS: www.trimble.com/gps/index.htm
- Otro tutorial de GPSPrimer: www.aero.org/publications/GPSPRIMER/index.html
- Más información procedente de la Universidad de Texas: wwwhost.cc.utexas.edu/ftp/pub/grg/gcraft/notes/gps/gps.html
- Un glosario de términos en la página de la revista GPSWorld: www.gps-world.com/resources/glossary.htm
- Información para los militares y usuarios en general sobre el estado de la constelación, incidencias de todo tipo... ofrecido por la *Joint Programme Office*: www.gps.laafb.af.mil/
- Almanques, incidencias en los satélites y otros datos por la Fuerzas Aéreas estadounidenses: 155.148.12.130/webpub/general/bbstest.nsf
- Página del Servicio Forestal estadounidense con información útil para el uso forestal del GPS: www.fs.fed.us/database/gps/welcome.htm

BIBLIOGRAFÍA

- ALBADALEJO, M. V., LINARES, J. L. y CABEZAS, J. D. (1998): «Integración de la tecnología GPS en la gestión del medio natural en la región de Murcia», *Revista Forestal Española*, septiembre 1998, pp. 9-12.
- ÁLVAREZ-CORDERO, E. y KÜNG, P. E. (1998): «Al rescate del Águila. Poniendo a la Harpía en el mapa de Venezuela», *GeoConvergencia*, julio 1998, pp. 8-19.
- ARCHDEACON, T. (1995): «Campfire Tales: Taking a GPS on a hunting expedition», *GPSWorld*, septiembre 1995, pp. 37-42.
- BERGSTROM, G. (1990): «GPS in forest management», *GPSWorld*, septiembre-octubre 1990, pp. 46-49.
- BERTRAN, T. E. y COOK, A. (1993): «Satellite imagery and GPS - aided ecology», *GPSWorld*, octubre 1993, pp. 48-53.
- CAÑAS, I. y otros (1998): *Introducción a la caracterización de las vías forestales por medio de sistemas digitales: el GPS Y GIS*, artículo en prensa, 1998.
- COLVOCORESSES, A. P. (1993): «GPS and the topographic map», *P.E.&R.S.*, noviembre 1993, pp. 1593-1595.
- CRISTOFANI, A. (1996): «The Earth in Balance: Maintaining Brazil's Biodiversity», *GPSWorld*, junio 1996, pp. 20-30.
- DANA, P. (1998): «Nicaragua's "GPSistas" Mapping their Lands on the Caribbean Coast», *GPSWorld*, septiembre 1998, pp. 32-42.
- DRAKE, P. y LUEPKE, D. (1991): «GPS for forest fire management and cleanup», *GPS-World*, septiembre 1991, pp. 42-46.
- GERLACH, F. y JASUMBACK, T. (1989): *IGARS'89. Canadian Symposium on Remote Sensing*, parte 3, 1989.
- GOAD, C. C. y YANG, M. (1997): «A new approach to precision airborne GPS positioning for photogrammetry», *P.E.&R.S.*, septiembre 1997, pp. 1067-1077.
- GUEVARA, N. (1998): «Protegiendo los nevados andinos y la Amazonia Ecuatoriana», *GeoConvergencia*, octubre 1998, pp. 12-18.
- HERNÁNDEZ, A. (1998): «Ejidos, mediciones y trabajo comunitario», *GeoConvergencia*, julio 1998, pp. 20-25.
- LA FEMINA, P. (1998): «From Borobudur to bicycles: geophysical surveys on foot and by wheel», *GPSWorld*, julio 1998.
- MANZANO-AGUGLIANO, F., MEROÑO, J. F., PÉREZ, M., LÓPEZ, M. y ORTÍZ (1998): «V. Farming Pays: Andalucía's Agricultural Application of GPS», *GPSWorld*, julio 1998, pp. 30-42.
- MCMAHON, S. D. (1997): «Unearthing soil compaction: The hidden effect of logging machines», *GPSWorld*, marzo 1997, pp. 40-45.
- PALACIO, J. L., LUNA, L. y BACKHOFF, M. A. (1995): «¡Adelante, sí! GPS and SIG Map Mexico's Roads and Highways», *GPSWorld*, marzo 1995, pp. 20-24.
- PETERSEN, C. (1990): «Into the woods with GPS», *GPSWorld*, noviembre-diciembre 1990, pp. 30-36.
- RODGERS, A. y ANSON, P. (1994): «Animal-borne GPS: Tracking the habitat», *GPS-World*, julio 1994, pp. 20-32.

- RODRÍGUEZ-SOLANO, R. (1998): *Integración de las técnicas GPS y SIG en la evaluación de incendios forestales*, SIGMA1, 1998.
- RODRÍGUEZ-SOLANO, R. (1994): *Aplicación de los sistemas GPS para la evaluación de zonas afectadas por los incendios forestales*, Tesis Doctoral. E.T.S.I. Montes, U.P.M. Madrid, 1994.
- ROGERS, R., JUMP, L. y SPENCER, C. (1995): «GPS among the Giants: Mapping the Sequoia National Forest», *GPSWorld*, noviembre 1995, pp. 24-33.
- TOLKIKI, S. y KOSKELO, I. (1993): «Seeing the trees through the forest: GPS Streamlines Finnish Logging Operation», *GPSWorld*, octubre 1993, pp. 20-27.
- WURZ, B. E. (1991): «National Treasures: GPS helps preserve a Bald Eagle habitat», *GPSWorld*, marzo 1991, pp. 28-33.
- ZAVALA, I. y GARCÍA, R. (1992): «Get the point? GPS ground control for Satellite Images», *GPSWorld*, octubre 1992, p. 34.
- ZAVALA, I. (1998): *Un acercamiento a la tecnología GPS como herramienta para los Sistemas de Información Geográfica: Descripción general y aplicaciones*, SIGMA1, 1998.